

陕北黄土丘陵沟壑区川旱地 不同耕作法的土壤水分效应

张兴昌 卢宗凡

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
(水利部)

提 要

利用一元四次方程模型能很好模拟川旱地小麦不同耕作法的土壤水分动态及耗水量动态规律,根据回归曲线将土壤水分动态分为四个阶段,不同耕作法在不同阶段失墒量显然不同。小麦在整个生育期土壤失墒量趋势为:垄沟+覆盖>平播+覆盖>平播>垄沟。同时认为,小麦生育前期耗水量对产量贡献甚微,生育后期耗水量对产量贡献较大。垄沟耕作在小麦生育前期比平播的水分损耗要多,垄沟的增产作用主要表现在生长后期,为了避免生长前期失墒量及耗水量较大,应该配合碎麦草覆盖,使垄沟耕作发挥巨大的增产作用。覆盖及垄沟耕作具有明显的增产效果,因而,应该积极推广冬小麦碎麦草覆盖耕作及垄沟耕作。

关键词: 冬小麦 垄沟耕作 覆盖 水分动态 耗水规律

Effect of Soil Water about Different Tillage Methods in Arid Plain Land in Shaanbei Hilly Gully Region

Zhang Xingchang Lu Zongfan

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and
Ministry of Water Resources, Yangling Shaanxi, 712100)

Abstract

The dynamic changes of soil water and laws of water consumption in the field growth wheat with four different tillage method were simulated by the linear regression equation model in arid plain land. By the linear equation the dynamic changes of soil water are divided into 4 stages and the different tillages of wheat have different consuming water amount in the same stage obviously. The sequence of the water consumption of wheat in whole growth period are as follows: ridge tillage with stubble mulch > conservational tillage with stubble mulch > conservational tillage > ridge. At the same time, the relationship between wheat yield and water consumption amount in earlier growth period is bigger than that in the latter period, the consuming water amount of ridge tillage in earlier stage is bigger than of the conservational tillage, and the increasing - yield effect of ridge tillage is responsive to the latter stage of wheat. In order to avoid the consuming water of earlier stage, the ridge tillage should cooperated with stubble mulch.

Key words wheat ridge tillage mulch dynamic change consuming water law

在半干旱黄土丘陵沟壑区,改善地面微地形,增加地面覆盖,减少裸地蒸发,强化降水入渗,提高土壤水分利用率是改善旱地农田土壤水分的重要措施。近年来,在陕北推广的“两法种田”,即山地水平沟种植法和川台地区垄沟种植法,在地面形成垄沟交错分布,在沟里或垄上种植作物,一方面改善土壤水分、温度条件;另一方面,有利于集中施肥,改善土壤肥力条件,从而明显表现出增产效果。在延安地区,“两法种田”平均每年增产粮食 1.15 亿 kg,因此基本解决了温饱问题。川旱地垄沟种植法,不仅适宜于秋粮作物(谷子、玉米等);而且还适宜于夏粮作物(小麦等)。多数研究认为,秋粮作物垄沟种植具有明显的蓄水保墒效果,其原因是秋粮作物生育期处于夏季高温多雨阶段,垄沟种植增加地表面积,在沟里多蓄积降水,改善土壤耕层温度和水分环境,因此具有显著的增产效果。但对于冬小麦来说,垄沟种植是否还能蓄水、保墒及其水分运行规律研究,迄今未见报道,为此,我们进行了这方面的研究。

一、试验设计

试验于 1985 年开始,1986 年结束。试验布设在中国科学院安塞水土保持综合试验站阳川地上。该地区多年平均降雨量 549.1mm,60%以上的降雨量多集中在 7~9 月,且多暴雨,年平均气温 8.8℃,≥10℃积温 3 113.9℃,平均无霜期 159 天,一般情况下可以满足当地作物生长的光、热、水等条件。

试验处理 4 个:平播(指一般播种法,行距 35cm);平播+碎麦草覆盖(每 1ha 覆盖碎麦草 2 250 kg,草长约 70cm);垄沟(沟宽 25cm,沟深 24cm)和垄沟+碎麦草覆盖。小区面积 11.0m×3.0m,重复 3 次。

1985 年和 1986 年试验用地前茬均为小麦,基肥每 1ha 优质羊粪 7.5t,碳氮 150kg,过磷酸钙 225kg。人工开沟播种,每 1ha 播量 135kg,品种为榆田 8 号。田间管理同一般大田,在小麦生育期内,按月测 2m 土层水分,生育期观测地温、记载小麦群体动态和进行必要的的考种。

二、试验结果与分析

(一)小麦生育期内,不同耕作法的土壤水分动态

黄土丘陵沟壑区降雨量分布的特点,基本上是冬春干旱,夏季雨水较多,在这种降雨分配形式下,以降雨为水分主要来源的旱川地,其土壤水分变化规律与自然降雨大体一致。即:越冬前的强烈失墒阶段;越冬期干湿交替失墒阶段;拔节后的强烈失墒阶段及乳熟后期的水分补偿阶段。根据不同耕作法冬小麦 2m 土层贮水量变化趋势,采用一元四次回归曲线模型 $y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4$ 进行拟合,便能反映不同耕作法土壤水分动态变化规律。

平播小麦地 2m 土层贮水量 y 随时间 t 变化的回归模型:

$$y = 518.6 - 3.285t + (3.876E - 02)t^2 - (2.025E - 04)t^3 + (3.159E - 07)t^4$$

$$n=11 \quad F_0=64.26 \quad R=0.9885$$

平播+覆盖 2m 土层贮水量 y 随时间 t 变化的回归模型:

$$y = 519.8 - 2.715t + (3.16E - 02)t^2 - (1.665E - 04)t^3 + (2.895E - 07)t^4$$

$$n=11 \quad F_0=70.48 \quad R=0.9895$$

垄沟 2m 土层贮水量随时间变化的数学模型:

$$y = 522.0 - 3.436t + (4.104E - 02)t^2 - (2.166E - 04)t^3 + (3.738E - 07)t^4$$

$$n=11 \quad F_0=66.89 \quad R=0.9889$$

垄沟+覆盖 2m 土层贮水量随时间变化的数学模型:

$$y = 526.0 - 3.257t + (3.880E - 02)t^2 - (1.948E - 04)t^3 + (3.168E - 07)t^4$$

$$n=11 \quad F_0=67.21 \quad R=0.9890$$

$F_{0.01}=14.55$, $R_{0.01}=0.7079$, 则上述回归方程 F_0 及 R 值均远远大于 $F_{0.01}$ 和 $R_{0.01}$, 表明上述四方程回归良好。

农田土壤水分状况一方面受气候条件控制, 另一方面又受作物本身的生长发育节律影响。当气候条件一致时, 由于耕作措施不同, 小麦生长发育也表现出不同, 因而导致了土壤水分的动态差异。根据不同耕作法土壤水分曲线变化, 将小麦生育期内土壤水分变化大致分四个阶段。

(1) 越冬前的强烈失墒阶段。时间为9月中下旬至11月中旬, 从小麦播种期至小麦越冬前, 这一阶段农田土壤湿度的总状况是从夏秋雨季后的湿状态, 逐渐转向消耗蒸发状态。这一段初期, 由于降雨量相对减少, 但气温尚高, 相对湿度低, 作物地面覆盖度小, 地面蒸发消耗成为土壤失墒的重要途径。但由于耕作措施不同, 其土壤水分蒸发消耗也不同, 表现在麦草覆盖的小区, 土壤失墒较少, 即平播+覆盖、垄沟+覆盖2m土层贮水量由播种期519.8mm和526.5mm分别下降到438.5mm和433.0mm, 净失墒81.3mm和93.5mm, 日均失墒1.36mm和1.56mm; 而平播及垄沟处理小区2m土层贮水量由播种期518.6mm和522.5mm分别下降到421.9mm和421.6mm, 净失墒96.7mm和100.6mm, 日均失墒1.61mm和1.68mm。麦草覆盖处理比无覆盖处理分别减少失墒量15.4mm和7.1mm, 平均11.3mm, 覆盖的保墒作用显著。由于垄沟耕作, 增加了地表面积, 相对增加了土壤水分蒸发, 因而垄沟耕作比平播在小麦越冬前易失墒。

(2) 小麦越冬期干湿交替失墒期。时间11月下旬到次年3月中旬, 是一年中寒冷的时期, 农田开始冻结, 蒸发减少, 但当土壤解冻后, 夜冻日消, 仍会促使土壤水分消耗损失。平播+覆盖及垄沟+覆盖2m土层贮水量由438.6mm和433.0mm, 下降到3月中旬的388.7mm和399.8mm, 净失墒49.8mm和33.2mm, 日均失墒0.42mm和0.28mm; 平播及垄沟2m土层贮水量由421.9mm和421.6mm分别下降到371.6mm和362.4mm, 净失墒50.3mm和59.2mm, 日均失墒0.42mm和0.49mm。麦草覆盖小区比无覆盖小区分别减少失墒量0.5mm和26.0mm, 这表明, 在小麦越冬期, 平播+麦草覆盖保墒作用不显著, 而垄沟+覆盖的保墒作用显著。

(3) 小麦返青至抽穗乳熟期失墒阶段。时间为3月下旬至6月上旬, 开春以后, 随着气温的回升, 土壤开始解冻, 小麦进入返青拔节以及抽穗乳熟期。这一时期, 小麦耗水量迅速增加, 需要大量的水分, 但是春季降雨一般不会很多, 且多被截留在毛管运行活跃的表层内, 极易蒸发, 引起植物根际层土壤水分的迅速下降, 是土壤耗水的主要时期。但由于耕作措施不同, 小麦的生长发育状况显然不同。平播+覆盖及垄沟+覆盖2m土层贮水量由388.7mm和399.8mm分别下降到353.3mm和339.1mm, 净失墒35.4mm和60.7mm, 日均失墒0.39mm和0.67mm; 而平播及垄沟2m土层贮水量由371.6mm和362.4mm分别下降到341.6mm和309.3mm, 净失墒30.0mm和53.1mm, 日均失墒0.33mm和0.59mm。覆盖与不覆盖水分差异不显著, 这可能是由于小麦蒸腾作用远远大于地表蒸发的缘故。但垄沟比平播失墒量显然增加。

(4) 小麦生长后期土壤水分的补偿期时间一般在6月上旬至7月上旬, 此时处于雨季来临之前, 降雨量相对增加, 小麦生长日益衰败, 耗水量减少, 土壤水分动态曲线呈上升趋势。由于耕作措施不同, 土壤水分补偿的程度截然不同。其中, 平播及平播+覆盖土壤水分回升到404.4mm和400.6mm, 而垄沟及垄沟+覆盖仅回升到364.0mm和365.4mm。

(二) 不同耕作法土壤耗水量动态

由于气候条件和作物生长发育状况不同, 冬小麦各阶段耗水量有着明显的差异, 但耗水规律基本一致, 反映了冬小麦耗水的内在规律和气候特征。以日耗水强度作为因变量, 时间 t 作为自变量

建立耗水量动态模型:

$$y = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3 + b_4t^4$$

式中: y 为耗水强度, 单位 (mm/d); t 为时间, 单位 (d)。

以播种期 9 月 20 日 $t=1$, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 分别为模型参数, 不同耕作法冬小麦耗水强度数学模型为:

平播

$$y = 3.506 - (7.557E - 02)t + (6.750E - 04)t^2 - (2.705E - 06)t^3 + (4.464E - 09)t^4$$

$n=10 \quad F_0=20.92 \quad R=0.9713$

平播+覆盖

$$y = 4.406 - 0.127t + (1.307E - 03)t^2 - (5.442E - 06)t^3 + (8.432E - 09)t^4$$

$n=10 \quad F_0=19.77 \quad R=0.9698$

垄沟 $y = 4.416 - 0.112t + (1.110E - 03)t^2 - (4.644E - 06)t^3 + (7.42E - 09)t^4$

$n=10 \quad F_0=19.47 \quad R=0.9693$

垄沟+覆盖

$$y = 2.703 - (5.935E - 02)t + (5.491E - 04)t^2 - (2.306E - 06)t^3 + (4.179E - 09)t^4$$

$n=10 \quad F_0=22.37 \quad R=0.9732$

$F_{0.01}=14.66$, $R_{0.01}=0.7348$, 则上式方程 F_0 值及 R 值均分别大于 $F_{0.01}$ 和 $R_{0.01}$, 方程回归达到极显著水平。为了比较不同时期作物耗水量, 对耗水强度方程, 取任一时段 t_1, t_2 , 对方程积分, 即

$$\int_{t_1}^{t_2} (b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3 + b_4t^4) dt$$

可得到时段耗水量。若时段分别取播种——越冬、越冬——返青、返青——拔节、拔节——开花及开花——成熟, 则冬小麦不同生育阶段耗水量如表 1 所示。

表 1 不同耕作法冬小麦各阶段耗水量

处 理	播种—越冬 (mm)	越冬—返青 (mm)	返青—拔节 (mm)	拔节—开花 (mm)	开花—成熟 (mm)	生育期耗水量 (mm)	产 量 (kg/亩)
平 播	115.7	62.8	26.7	32.6	118.0	355.8	71.1
占生育期耗水量%	32.5	17.7	7.5	9.2	33.1	100.0	
平播+覆盖	113.8	54.0	37.3	40.6	132.4	328.2	79.1
占生育期耗水量%	30.1	14.3	9.9	10.7	35.0	100.0	
垄 沟	130.2	70.7	34.2	38.4	132.7	406.2	89.1
占生育期耗水量%	32.1	17.4	8.4	9.5	32.7	100.0	
垄沟+覆盖	88.7	57.3	30.7	39.8	148.7	365.2	97.1
占生育期耗水量%	24.3	15.7	8.4	10.9	40.7	100.0	

为了研究不同耕作法阶段耗水量与产量关系, 采用灰色关联度分析方法, 分别就各阶段耗水量与产量的关系, 求得灰色关联度为 $r_{\text{播种—返青}}=0.6725$, $r_{\text{返青—成熟}}=0.8150$, $r_{\text{播种—越冬}}=0.6837$, $r_{\text{越冬—返青}}=0.6605$, $r_{\text{返青—拔节}}=0.7523$, $r_{\text{拔节—开花}}=0.7915$, $r_{\text{开花—成熟}}=0.8521$, 以 $r_{\text{开花—成熟}}$ 值最大, 以 $r_{\text{越冬—返青}}$ 值最小。从关联度大小取值可以看出, 在小麦生长后期(返青—成熟)作物耗水量与产量关

系甚为密切,前期(播种—返青)耗水量对产量贡献最小,此结论与朱自玺等人结论一致。基于此观点,来分析比较不同耕作法阶段耗水量。从表1中可以明显看出:在小麦幼苗期(播种—返青),平播+覆盖及垄沟+覆盖冬小麦耗水量均小于不覆盖处理,且垄沟耗水量大于平播,表明:覆盖可以显著地减缓水分的无效损耗,垄沟种植增加了水分的无效损耗,因此,在此阶段如何降低垄沟水分的消耗,就显得十分重要;随着气温的回升,在小麦生长后期(返青—成熟),覆盖冬小麦耗水量均大于无覆盖处理,这是由于前期水分消耗较小,地温高于无覆盖处理,小麦分蘖及生长状况良好,后期作物生理蒸腾作用加强,因而耗水量较大。同时,垄沟耗水量均明显大于平播,这似乎表明,垄沟小麦的增产作用主要反映在生长后期,这可能是由于,垄沟地表面积大于平播,在小麦越冬期,地表温度昼夜变化较大,夜冻日消加速了土壤水分损耗。因而,垄沟种植在小麦幼苗期(播种—返青),净消耗水分 200.9mm,而平播仅消耗水分 178.5mm,多耗水 22.4mm;在小麦拔节期

表2 不同耕作法小麦生长动态

处理	基本苗 (万株/ha)	冬前分蘖 (万株/ha)	春季分蘖 (万株/ha)	成穗数 (万株/ha)
平播	300.6	710.7	1213.5	464.1
垄沟	288.3	571.7	1077.3	533.1

乃至成熟期,随着地温的回升,垄沟温度有可能高于平播,同时沟和垄改善了小麦生长水、肥、气等因子,在此阶段,垄沟净耗水 171mm,平播耗水 150.6mm,多耗水 20.5mm。平播与垄沟在小麦生长前期及后期耗水及温度的差异主要反映在小麦生长动态方面(表2)。尽管垄沟种植群体动态在

小麦生育前期不如平播,但是成穗数显著高于平播,因而比平播增产 18kg/亩,增产 25.3%。

(三)不同耕作法与产量关系

不同耕作法是否适宜,应注重看其是否增产。从结果(表3)中可以看出:平播+覆盖及垄沟+覆盖产量明显高于不覆盖处理,表明碎麦草覆盖增产作用显著;垄沟小麦产量也显著高于平播,如果垄沟耕作配合碎麦草覆盖,产量最高。同时,覆盖及垄沟处理水分利用率也明显高于平播。

表3 不同耕作法对小麦产量及水分利用率的影响

年份 (年)	处 理	生育期降雨量 (mm)	土壤供水水量 (mm)	作物耗水量 (mm)	产 量 (kg/亩)	水分利用率 (kg/mm)
1985	平 播	236.9	118.9	355.8	71.7	0.200
	平播+覆盖	236.9	141.3	378.2	79.1	0.209
	垄 沟	236.9	169.3	406.2	89.1	0.219
	垄沟+覆盖	236.9	128.3	365.2	97.1	0.266
1986	平 播	291.7	142.8	434.5	99.3	0.229
	平播+覆盖	291.7	141.2	432.9	118.8	0.274
	垄 沟	291.7	183.8	475.5	106.3	0.224
	垄沟+覆盖	291.7	175.0	466.7	119.1	0.55

参 考 文 献

- [1] 卢宗凡等. 黄土丘陵区水土保持生物和耕作措施的研究.《水土保持学报》,1988年,第1期
- [2] 卢宗凡等. 干旱坡地草灌带状间作土壤水分变化的数学模型.《水土保持学报》,1988年,第4期
- [3] 卢宗凡等. 黄土丘陵区川平地作物土壤水分动态.《中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊》,1988年,第8集
- [4] 朱自玺等. 冬小麦耗水量和耗水规律的分析.《气象》,第13卷,第2期